

УДК 620.179.14

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ИМПУЛЬСНОЙ ВИХРЕТОКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

проф., д.т.н. Куц Ю.В., ас. Лысенко Ю.Ю., ас. Дугин А.Л.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина

Применение в средствах неразрушающего контроля (НК) современных цифровых методов обработки сигналов позволяет повысить эффективность контроля и расширить функциональные возможности аппаратуры. Традиционные методы вихретокового неразрушающего контроля (ВТНК) ориентированы на использование гармонических сигналов возбуждения и обычно заключаются в анализе их параметров - амплитуды и начальной фазы (или ортогональных составляющих сигналов в случае их представления на комплексной плоскости) [1]. В практике НК все чаще применяют и другие методы ВТНК, например методы, основанные на импульсном возбуждении вихревых токов. В работе [2] рассмотрены совместное использование гармонического и импульсного режимов возбуждения электромагнитного поля при контроле стенок трубы с целью увеличения числа контролируемых характеристик объекта контроля (ОК). Положительный эффект достигается за счет выявления и использования дополнительных информативных параметров сигналов вихретокового преобразователя (ВТП) - затухания сигнала и изменения временного положения точки пересечения нулевого уровня этим сигналом. В работе [3] предложен импульсный режим ВТНК, который применялся для оценки степени коррозионного поражения металла. Его суть также заключается в оценке временного положения первой точки пересечения нулевого уровня сигналом ВТП.

Импульсный режим в ВТНК также применяют для контроля многослойных материалов и объектов [1]. За счет возбуждения ВТП периодическими импульсными токами информационный сигнал содержит ряд частотных компонент, использование которых позволяет повысить информативность и скорость контроля, обеспечивает выявление дефектов в многослойных проводящих средах на большей глубине.

Возможности импульсного метода ВТНК ограничены тем, что значительная часть информации, содержащейся в рассматриваемом сигнале, не используется. В тоже время метод цифровой обработки сигналов ВТНК на основе преобразования Гильберта позволяет получать амплитудные и фазовые характеристики сигнала (АХС и ФХС) ВТП, которые содержат больше

информации об ОК и по которым можно оценить дополнительные информативные параметры [4, 5].

В докладе рассмотрена методика обработки сигналов ВТНК с импульсным возбуждением. Она основана на воздействии импульсным токовым сигналом через ВТП трансформаторного типа на ОК, формировании реакции системы ВТП – ОК в виде затухающего гармонического колебания, дискретного преобразования Гильберта этого сигнала и оценке параметров ОК по АХС и ФХС.

На рис.1 приведена структура разработанной системы ВТНК, реализующая данную методику.

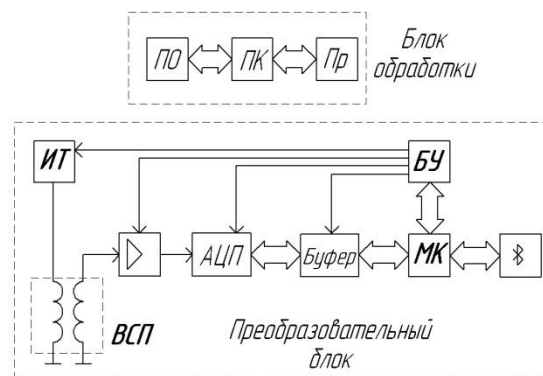


Рис.1. Разработанная система импульсного вихретокового контроля

Преобразовательный блок состоит из накладного трансформаторного ВТП, на первичную катушку которого поступает возбуждающий импульсный сигнал от источника тока (ИТ). Сигнал измерительной катушки ВТП усиливается и оцифровывается аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Полученные данные записываются в буфер памяти для последующей передачи в блок обработки данных. Эта передача осуществляется через микроконтроллер (МК) и беспроводной модуль связи. Беспроводной режим реализован на базе Bluetooth модуля третьего класса мощности с внешней антенной, который обеспечивает связь между блоками обработки данных и преобразования на расстоянии до 300 метров. Синхронизация работы основных элементов блока преобразования обеспечивается блоком управления БУ.

Блок обработки данных включает приемник (Пр), персональный компьютер (ПК) со специальным программным обеспечением (ПО).

Порядок обработки сигналов ВТП с импульсным возбуждением проиллюстрирован на рис. 2. В качестве информационных параметров сигналов рассматривались их затухание и частота [5]. Определение частоты сигналов ВТП проводится с использованием линейного тренда функции ФХС:

$$f_L(p_1) = \frac{\Delta \hat{\Phi}_L[p_1, \Delta T]}{2\pi \Delta T},$$

где $\Delta \hat{\Phi}_L[p_1, \Delta T]$ - накопленная за время ΔT фаза сигнала ВТП, полученная как функция линейной регрессии, p_1 - информационный параметр.

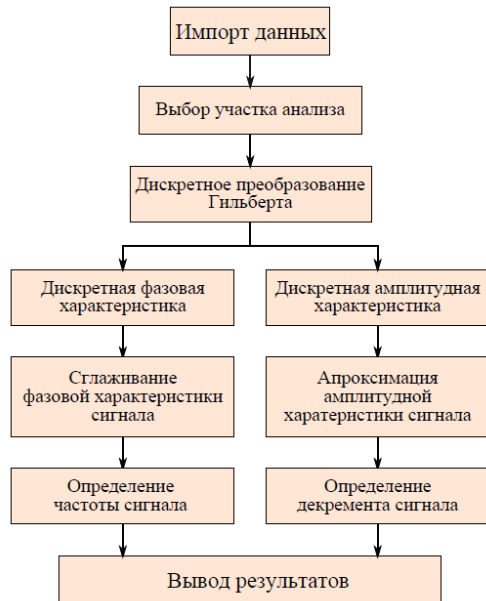


Рис.2. Алгоритм обработки сигналов ВТНК

Декремент информативного сигнала ВТП определяется согласно выражению:

$$\alpha(p_2) = \frac{1}{\Delta T} \ln \frac{\hat{U}(t_1', p_2)}{\hat{U}(t_2', p_2)}.$$

где $\hat{U}(t_1', p_2)$, $\hat{U}(t_2', p_2)$ – значения АХС в моменты времени t_1' и t_2' , соответственно.

Описанная выше методика была апробирована на примере задачи контроля толщины диэлектрического покрытия импульсным методом ВТНК[6]. Полученные зависимости представлены на рис. 3 и 4. Из анализа этих зависимостей следует, что при уменьшении толщины покрытия для одного материала основы увеличивается декремент сигнала ВТП. При этом на значение частоты сигнала существенно влияет магнитная проницаемость материала основы.

Таким образом, ВТНК с импульсным возбуждением в сочетании с цифровой обработкой информационных сигналов на основе дискретного преобразования Гильберта может существенно дополнить известные методы за счет возможности

анализа таких параметров сигналов как частота, дисперсия фазы, декремент сигнала и временное положение характерных точек сигнала.

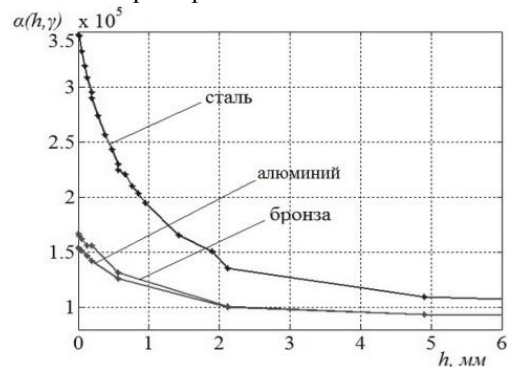


Рис.3. Зависимость декремента сигнала ВТП от толщины покрытия

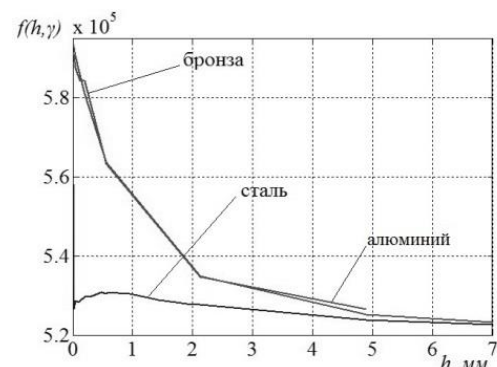


Рис.4. Зависимость частоты сигнала ВТП от толщины покрытия

В данной работе показана практическая реализация методики обработки сигналов импульсного ВТНК на примере контроля толщины диэлектрического покрытия заготовок из различных материалов ВТП с импульсным возбуждением.

1. Неразрушающий контроль. Кн. 3. Электромагнитный НК / Под ред. В.В. Сухорукова – М.: Высшая школа, 1992, – 320с.
2. Vasic D. Pulsed Eddy-Current Nondestructive Testing of Ferromagnetic Tubes / D. Vasic, V. Bilas, D. Ambrus // IEEE Trans. Instrum. Meas. – 2004. – vol. 53, no. 4. – pp. 1289-1294.
3. Morris R. A. Quantitative Pulsed Eddy Current Analysis / R. A. Morris // Proc. of the 10th Symposium on NDE – 1975. – pp. 90-97.
4. Куц Ю. В. Імпульсний вихвострумний контроль об'єктів циліндричної форми / Куц Ю. В., Лисенко Ю. Ю. // Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування: збірник наукових праць. – 2013. – Вип. 45. – С. 69–75.
5. Куц Ю. В. Імпульсний вихвострумний контроль товщини діелектричного покриття на магнітній основі / Куц Ю. В., Лисенко Ю. Ю. // Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування: збірник наукових праць. – 2015. – Вип. 49(1). – С. 68–74.